

文章编号 1001 - 7410(2006)06 - 969 - 07

陕西洛川地区全新世中期土壤与气候变化^{*}

赵景波^{①②} 郝玉芬^① 岳应利^①

(①陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062; ②中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

摘要 在洛川城东全新世中期古土壤剖面中采集了 66 块样品, 利用气量法、磁化率测定、颗粒分析和显微镜观察方法, 对土壤层中的 CaCO_3 含量、磁化率、颗粒成分、微结构进行了分析和鉴定。粒度成分显示洛川中全新世土壤可分为两层, 中间为薄层黄土层。实验资料表明, 洛川中全新世早期土壤 CaCO_3 含量低, 平均为 0.34%, 具有显著淋溶土壤的特征; 小于 0.005 mm 的粘粒含量比马兰黄土高约 12%。粘化层(Bt 层)中光性粘土胶膜有一定的发育, 而且可见少量块状粘土胶膜存在, 表明该层古土壤具有粘粒迁移和粘粒淀积的特征, 指示中全新世早期发生的成壤作用比洛川现今成壤作用显著强。由此可以确定, 中全新世早期土壤类型应为淋溶褐土, 当时夏季风活动增强, 气候比现今明显温湿, 年平均降水量至少比现今多 100mm 余。中全新世晚期古土壤 CaCO_3 平均含量为 2.5%, 淀积型粘土胶膜发育差, 以残积粘土为主。中全新世晚期古土壤比早期土壤发育弱, 但比该区现代土壤发育强, 土壤类型应为典型褐土, 当时气候也比现代温湿。中全新世中期 6000~5000 年间为气候冷干和沙尘暴活动加强的环境恶化期。研究结果对揭示黄土高原中部全新世中期土壤性质和气候变化具有重要意义。

主题词 洛川地区 中全新世 土壤类型 气候恶化

中图分类号 P467, P534.632, S155

文献标识码 A

全新世环境与现代关系密切, 它的研究受到了广泛重视^[1~13]。全新世中期是 1 万年来气候最暖湿的时期, 也是黄土高原植被与土壤发育好的时期。这一时期气候的性质、植被与土壤类型对认识黄土高原历史时期森林植被发育状况和现代生态环境建设有参考价值。人们对全新世研究的历史已达 100 多年, 在研究的初期人们就发现, 虽然全新世气候延续时间较短, 但气候变化频繁, 呈现出明显的多阶段性。目前的研究认为, 1 万年来至少出现了 5 个明显的阶段^[14,15]。近年来的研究表明, 约 8500~3000aB.P. 年之间的全新世中期的气候也存在着变化^[14~16], 其中早期气候最暖湿, 中期为温度降低的变冷阶段, 晚期又变得温湿。黄土物质对气候变化反映敏感, 能够较好的记录气候变化。温湿气候利于土壤的发育, 洛川等黄土高原全新世中期地层的特点是有较为清楚的一层古土壤发育, 该层古土壤上界年代为 3100aB.P.^[14,17], 下界年代一般认为是 8500aB.P. 年左右^[14,18]。关于洛川地区全新世土壤类型, 过去初步认为是草原环境下的黑垆土^[13]。以往的研究为认识全新世土壤性质提供了重要依据,

但以往的研究结果与全新世中期比现今明显温湿的气候^[14,16]之间存在矛盾, 对土壤类型的认识还存在不足, 需要进行更深入的研究。本文根据多项指标的分析和鉴定, 探讨洛川地区中全新世土壤类型、气候特征和气候变化等问题。

1 研究剖面的分层和年代

全新世中期土壤(S_0)通常显示为一层, 但少数剖面中显示为两层, 中间为一薄层黄土分开。据黄春等和张健等研究, 在关中平原地区已有多个剖面具有这样的分层特征^[14,15,19](图 1)。本文研究的剖面位于洛川县城东约 1km 的黄土塬上, 根据野外观察和下述的颗粒分析等实验资料可知, 该剖面包括马兰黄土共分为 6 层(见图 1)。从上向下的第 1 层为全新世晚期黄土(L_0), 厚约 0.7m; 第 2 层为中全新世晚期古土壤(S_{01}), 厚约 0.4m; 第 3 层为薄层黄土(L_x), 厚 0.2m, 这一薄层黄土显然也是 S_{01} 的母质层, S_{01} 部分物质应当是由 L_x 经成壤作用改造而成的, 第 4 层是中全新世早期古土壤(S_{02}), 深灰褐色, 粗糙柱状结

第一作者简介 赵景波 男 53 岁 教授 第四纪地质学专业 E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn

* 国家自然科学基金项目(批准号 40571004)、陕西师范大学历史地理国家重点学科项目(批准号 SNNUHG04007)和中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(批准号 SKLLQG0504)资助

2006-04-25 收稿 2006-06-29 收修改稿

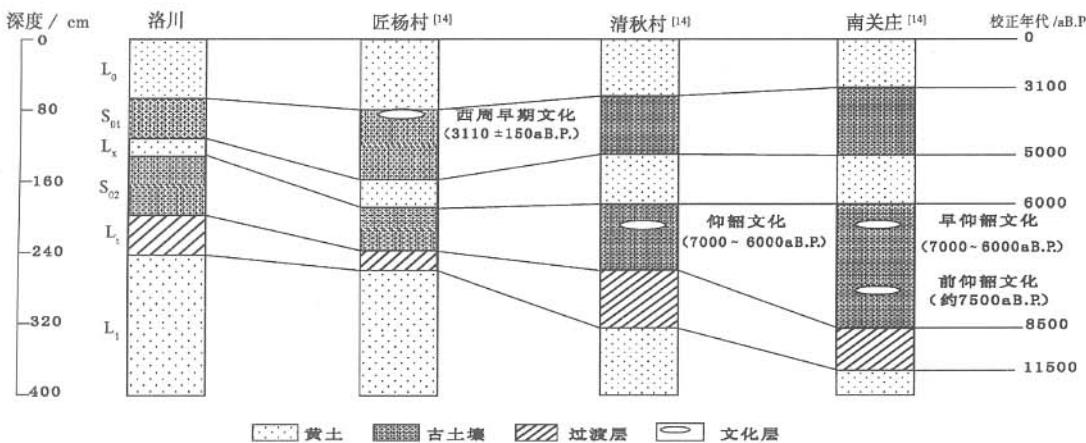


图1 洛川和关中平原全新世黄土剖面对比

Fig. 1 Correlation between Holocene loess profiles in Luochuan and Guanzhong Plain

构,厚0.73m,第5层是过渡层(L_t),厚0.2m,因为古土壤 S_{02} 开始发育的年代为距今8500年^[15,18],所以 L_t 应当是全新世早期堆积的黄土,它受到了 S_{02} 发育时淋溶作用的微弱影响,也是 S_{02} 发育的母质层;第6层是马兰黄土(L_1),其顶部也是 S_{02} 的 CaCO_3 淀积层占据层位(见图1)。为更好反应土壤形成过程,唐克丽等提出了新的土层划分代号^[17],本文考虑到当前土层符号使用的普遍性,仍采用了原来层位的代号。关于各层位的年代,根据中国考古研究所对全新世有关土层中木炭屑^{14C}的测定^[20]和Huang等对关中地区全新世黄土剖面的划分与年代判定^[14],可获得各层位发育的年代(见图1)。由于黄土堆积和气候变化在大范围内具有一致性,所以剖面各层位的对比和年代的确定应当是可信的。

2 洛川全新世土壤的粒度成分

在全新世中期古土壤中和黄土夹层中每隔

2.5cm采样1块,共采样品51块。为进行比较,在该层古土壤之下的过渡层(L_t)中采集了9块样品,在马兰黄土(L_1)上部采集了6块样品,总共66块。

利用激光粒度仪对所采样品进行了粒度分析。通过粒度分析可知,中全新世古土壤可分为2层,中间为一粒度成分较粗的黄土夹层。下层古土壤粒度成分以粉砂为主,平均含量占64.7%,其中0.01~0.05mm的粗粉砂平均含量占47.5%,0.005~0.010mm细粉砂平均含量占17.2%,小于0.005mm的粘粒平均含量为29.8%,比下述马兰黄土粘粒平均含量高12%。0.05~0.10mm的极细砂平均含量为5.5%,0.10~0.25mm细砂平均含量不足1%。上层古土壤与下层古土壤粒度成分基本相同(图2),但粉砂含量略高,粘粒含量略低。在上、下层古土壤之间为20cm厚的相对粗粒黄土层中8个样品的分析表明,黄土夹层中的粉砂平均含量为66.3%,其中粗粉砂平均含量为47.5%,细粉砂平

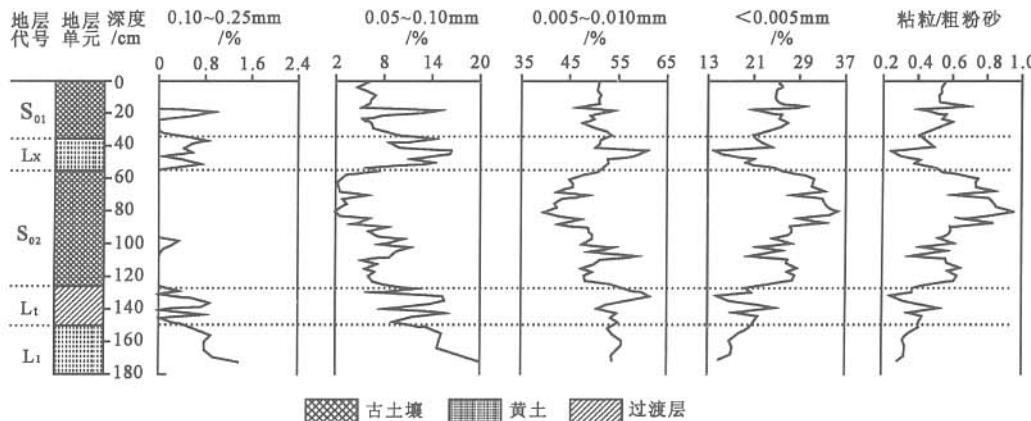


图2 洛川城东中全新世古土壤粒度成分变化

均含量为 12.6% ,极细砂平均含量为 12.6% ,细砂平均含量不足 1% 。黄土夹层中粗粉砂平均含量比古土壤层多约 4% ,极细砂平均含量高约 7% ,具有与下述马兰黄土粒度成分基本相同的特征。马兰黄土上部 6 块样品的分析显示,该层中粉砂平均含量占 65.5% ,其中粗粉砂平均含量为 53.8% ,细粉砂平均含量为 11.8% ,粘粒平均含量为 17.8% ,极细砂平均含量为 15.7% ,细砂平均含量小于 1% 。在中全新世早期古土壤和马兰黄土之间的过渡层中采集的 9 块样品的粒度成分分析结果与马兰黄土粒度成分很接近(见图 2)。如将中全新世古土壤粒度成分与马兰黄土进行对比,可知前者比后者粗粉砂平均含量低 6.2% ,极细砂平均含量低 10.2% ,粘粒平均含量多 12.0% ,细粉砂含量高 5.4% 。这表明中全新世古土壤经历了明显的粘化作用,是具有明显粘化层发育的古土壤。粒度成分还指示,中全新世古土壤分为两个层,表明出现了两个成壤期。

3 洛川中全新世土壤 CaCO_3 含量与磁化率

利用气量法对中全新世古土壤、过渡层和马兰黄土中的 66 块样品进行了 CaCO_3 含量测定。测定结果表明,下层古土壤 CaCO_3 含量变化在 0 ~ 1.8% 之间,平均含量为 0.34%;在该层古土壤粘化层底部之下 20cm 厚的黄土过渡层中 CaCO_3 含量增高,平均含量为 3.7%,在更深处的黄土层中平均含量达到了 11.5%(图 3),这一 CaCO_3 含量高的层位实际上是 S_{02} 的 CaCO_3 淀积层。在上层古土壤中, CaCO_3 含量变化在 1.8% ~ 3.2% 之间,平均含量为 2.5%。在上、下古土壤之间的黄土夹层中 CaCO_3 含量变化在 1.6% ~ 2.4% 之间,平均含量为 2.1%。在马兰黄土顶部, CaCO_3 含量变化在 9.9% ~ 12.4% 之间,

平均含量为 11.5%。 CaCO_3 含量显示,古土壤中的 CaCO_3 受到了较强的淋溶,粘化层中的 CaCO_3 基本淋失,淋溶的 CaCO_3 在过渡层中淀积较少,大部分 CaCO_3 淀积在过渡层之下的黄土中。 CaCO_3 测定表明,洛川中全新世古土壤具有淋溶性土壤的特征。66 块样品的磁化率测定显示,中全新世古土壤也可分为两层,下层古土壤磁化率最高,上层古土壤磁化率居中,所夹薄层黄土磁化率很低,指示下层古土壤比上层古土壤明显发育强。

4 中全新世土壤的微结构

微结构对土壤类型有重要指示作用^[21~24],特别是其中的次生粘土,对土壤类型的指示作用超过了其他的土壤鉴别指标,是既有效又可靠的指标。通过 24 张薄片的观察得知,中全新世早期土壤(S_{02})中粉砂颗粒多以棱边和棱角相接触,暗色矿物边缘风化明显,矿物具有定向排列显示,常见次生粘土条带和少数粘土块出现(图 4);粘土颗粒主要以填充粒间孔隙的形式存在,呈现粒状孔隙胶结为主的微结构。在粘化最强层位,在孔洞和裂隙边缘常有光性粘土胶膜发育,偶见粘土胶膜成块状。多数粘土胶膜的光性不均一,少数块状胶膜光性较为均一。粘土胶膜以浅棕红色为主,流动构造清楚(见图 4),显然是发生了迁移之后淀积形成的,属淀积型的胶膜。在粘化层中部,光性粘土胶膜含量为 3% 左右。中全新世晚期古土壤(S_{01})的微结构与中全新世早期古土壤不同,主要差别是光性粘土胶膜发育弱,含量少,主要呈细条状,斑点状,流动构造清楚,但无块状胶膜发育,显示具有残积—淀积粘化的特征。在过渡黄土层中,几乎不见光性粘土胶膜发育,但有少量粘土块和粘土条带发育,指示该土层具有残积弱粘化特征。

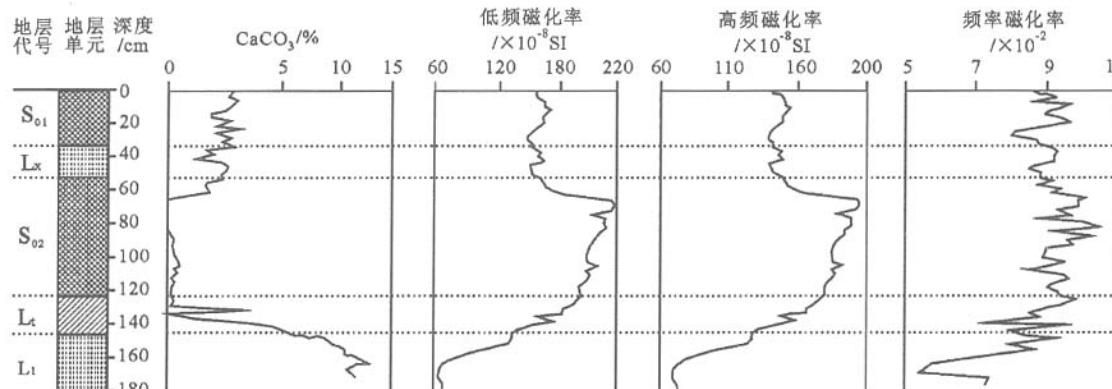


图 3 洛川城东中全新世古土壤 CaCO_3 含量与磁化率变化(图例同图 2)

Fig. 3 Change of CaCO_3 content and magnetic susceptibility in Middle Holocene soil in eastern Luochuan profile

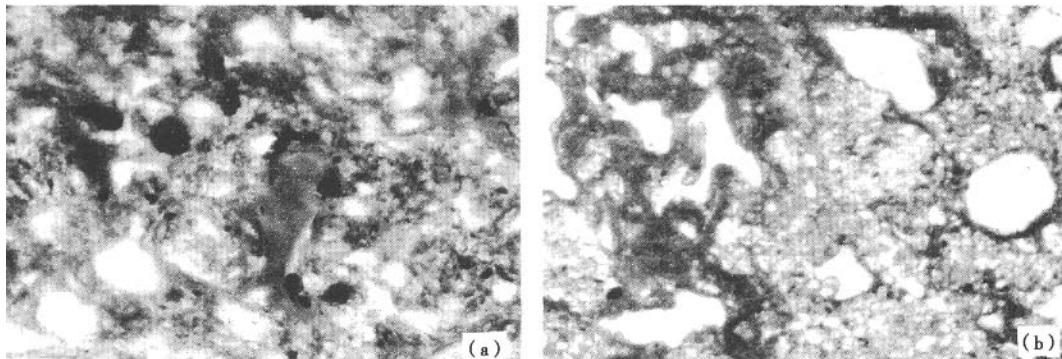


图4 洛川城东剖面全新世土壤(S_{02})微结构

(a)块状粘土胶膜(中部深灰色部分, $\times 300$) (b)流胶状粘土胶膜(左侧深灰色部分, $\times 30$)

Fig. 4 Microscope texture of Holocene soil in eastern Luochuan profile

5 讨论

5.1 洛川中全新世土壤分期与气候恶化

前人对洛川地区全新世黄土作过一些研究^[13,17],取得了重要认识,但对洛川地区中全新世土壤分层和土壤类型的认识还有待深入。在黄土塬区,全新世中期土壤一般为一层,但在关中平原的渭河阶地上有时该层土壤由两层构成,中间夹一薄层黄土^[14,15,19]。在洛川地区,到目前为止尚未确定中全新世有两层古土壤存在。但本文粒度成分显示洛川中全新世古土壤确实可分为2层。上、下古土壤之间的夹层中粒度成分与马兰黄土基本相同,显然这是一个代表相对冷干气候的黄土层。虽然黄土夹层中 $CaCO_3$ 含量不高,这与 $CaCO_3$ 易受后期淋溶作用有关。这一薄层黄土之上为古土壤层,该古土壤发育时的淋溶作用会影响到黄土夹层,使其 $CaCO_3$ 含量减少。与 $CaCO_3$ 含量相比,粒度成分是更可靠的较稳定指标。因此,宏观表现为一层的全新世古土壤实际上是由3个分层构成的。颗粒成分变粗是气候冷干和沙尘暴活动加强造成的,较干旱时期的较弱的风化作用使得沙尘暴带来的粗粉砂和极细砂得以保存。虽然该层黄土厚度很小,但考虑到古土壤 S_{01} 的发育已将该层黄土的一部分改造成为土壤,所以这一薄层黄土最初的厚度要比现在大。它的存在表明,在中全新世广大黄土塬区与河谷阶地等地区同样都存在一个短暂的气候恶化和沙尘暴活动加强的时期。根据近年来在关中地区的研究,中全新世气候变冷变干阶段发生的时间在距今6000~5000年之间^[14]。施雅风等^[16]研究,中全新世气候恶

化在许多剖面中都存在。在中全新世土壤中,有时可见代表冷干与温湿不同气候孢粉的混合,有时可见指示冷干与温湿不同气候化学指标和微结构的共存,这些非正常现象应当与中全新世中期出现了冷干气候有直接关系。这一气候恶化阶段表明中全新世温湿期存在干冷气候事件,也指示中全新世温湿期的气候是不稳定的。

5.2 洛川中全新世土壤类型与气候特征

早期的初步研究认为洛川中全新世古土壤含有4%左右的 $CaCO_3$,受成壤作用弱,土壤类型为黑垆土^[13,25],当时年均降水量为300~500mm,代表较为干旱的气候环境。近年来,关于该层土壤研究取得了进展。唐克丽等根据土壤微结构鉴定和化学分析等资料得出,中全新世土壤具有淋溶特征,为淋溶黑钙土或褐色土,发育时的植被为半湿润、湿润型森林草原或灌丛森林^[17,26]。黑钙土发育在寒冷偏干旱气候条件下,典型褐土则发育在温暖半干旱和半湿润气候条件下。由此可见,关于该层古土壤类型和形成时的气候还需要进一步研究。现代典型褐土 $CaCO_3$ 含量一般大于2%,淋溶褐土 $CaCO_3$ 含量一般低于1%^[27]。本文的研究表明,洛川城东中全新世早期古土壤 $CaCO_3$ 含量平均为0.34%,具有很明显的淋溶土壤 $CaCO_3$ 含量特征。该层粘化层底部之下的过渡母质层中 $CaCO_3$ 含量比黄土层中少,这应是其中的 $CaCO_3$ 受到了一定淋溶迁移作用造成的,指示该层古土壤的 $CaCO_3$ 淀积层没有淀积在过渡母质层中,而是迁移到了更深处的黄土层中,这也是淋溶土壤 $CaCO_3$ 淀积层的分布特征。粘土胶膜指示该层土壤的粘粒成分发生了移动,表明当时不仅

发生了残积型的物理粘化,而且发生了淀积型的化学粘化作用。淀积粘化作用发生在 CaCO_3 淋失的条件下^[26,27],进一步指示该层土壤为淋溶性土壤。典型褐色土是碱性的,不具有 CaCO_3 淋失和淀积粘化的特点^[27],这充分证明全新世古土壤比典型褐土发育明显强。由此确定,洛川中全新世早期土壤至少为淋溶褐土或棕色土,比黑垆土的发育显著强。棕色土受淋溶更强, CaCO_3 淋溶迁移与粘化更显著,洛川中全新世早期古土壤属于棕色土的可能性不大,所以我们将该层古土壤确定为淋溶褐土。淋溶褐土一般发育在年降水量700mm的条件下^[27],考虑到在富含 CaCO_3 的黄土母质上发育淋溶褐土需要更多的降水量,由此推断洛川当时年降水量应略多于700mm,比黑垆土发育区的年降水量至少多200mm。洛川现代年降雨量为600mm左右,当时比现在多100mm余。虽然中全新世晚期古土壤 CaCO_3 含量为2.5%,但这与其上覆1m厚的全新世黄土中的 CaCO_3 淋溶有关。上覆黄土中 CaCO_3 的淋溶在下伏古土壤中有一定的沉淀,造成了其中 CaCO_3 含量上升。根据中全新世晚期古土壤的特点初步确定该层古土壤为典型褐土。洛川现代年均温为9℃,全新世中期比现在至少高2℃^[18,26]。在这种温暖较湿润条件下发育的土壤应为淋溶褐土,而不应当是发育在较为寒冷偏干气候条件下的淋溶黑钙土。

5.3 中全新世的气候变化与气候带迁移

洛川现代年平均降水量为600mm左右。在中全新世年降水量达到了700mm多,比现代多100mm余。从中全新世土壤粘化层略具有棕红色特点得知,当时温度比现今也高。温度的升高是全球气候变暖造成的,这种变化只能代表全球气候的变化。全球气候变暖会使不同纬度带的气温都升高,严格说来不能代表气候带的迁移。按照地球轨道变化理论^[28],全球温度升高是地球接受太阳辐射量增加引起的,所以不能代表气候带的迁移。然而,在黄土高原地区降水量的增加则是来自东南的降雨气团活动加强造成的,也就是夏季风活动加强造成的。夏季风的活动加强使来自东南的降水气团能够伸入到黄土高原内部,给洛川等地带来了更多的降水量,这种变化才真正代表了以水为主要成分的气候带的迁移。因此,洛川中全新世古土壤既代表了全球气候的变化,又代表了气候带的迁移。

6 结论

综上所述,可得出以下认识:

(1)洛川中全新世土壤可分为2层,中间为一薄层黄土,代表该地区中全新世出现了3个阶段的气候变化,反映中全新世气候存在不稳定性。

(2)洛川中全新世早期古土壤具有淀积粘化的特征,已发育成为很好的淋溶褐土,当时年平均降水量比现今至少多100mm余。

(3)中全新世晚期古土壤也有粘化层发育,其土壤类型为典型褐色土,当时的气候也比现代暖湿。

(4)洛川中全新世黄土夹层代表了当时气候恶化和沙尘暴活动加强,这也是中全新世气候最冷干的阶段。

致谢 黄春长教授对本文修改提出了宝贵意见,在此表示非常感谢!

参考文献(References)

- 1 刘东生. 开展“人类世”环境研究,做新时代地学的开拓者——纪念黄汲清先生的地学创新精神. 第四纪研究, 2004, 24(4): 369~378
Liu Tungsheng. Demand of Anthropocene study in the new stage of geoscience: In honor of Late Geologist Huang Jiqing for his innovative spirit. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(4):369~378
- 2 周群英, 黄春长. 西周沣镐遗址全新世土壤研究. 地理科学, 2003, 23(3): 310~315
Zhou Qunying, Huang Chunchang. Holocene soil formation at the Fenghao site of the West Zhou Dynasty near Xi'an City. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(3): 310~315
- 3 黄春长, 庞奖励, 陈宝群等. 渭河流域先周—西周时代环境和水土资源退化及其社会影响. 第四纪研究, 2003, 23(4): 404~414
Huang Chunchang, Pang Jiangli, Chen Baoqun et al. Land degradation and its social impact in the Weihe River drainage basin during the Predynastic Zhou – Western Zhou Dynasty. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(4): 404~414
- 4 莫多闻, 王辉, 李水城. 华北不同地区全新世环境演变对古文化发展的影响. 第四纪研究, 2003, 23(2): 200~210
Mo Duowen, Wang Hui, Li Shuicheng. Effects of Holocene environmental changes on the development of archaeological cultures in different regions of North China. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(2): 200~210
- 5 郑卓, 邓韫, 张华等. 华南沿海热带—亚热带地区全新世环境变化与人类活动的关系. 第四纪研究, 2004, 24(4): 387~393
Zheng Zhuo, Deng Yun, Zhang Hua et al. Holocene environmental changes in the tropical and subtropical areas of the South China and the relation to human activities. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(4): 387~393
- Zheng Zhuo, Deng Yun, Zhang Hua et al. Holocene environmental changes in the tropical and subtropical areas of the South China and the relation to human activities. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(4): 387~393

- 387~393
- 6 邱维理,李容全,朱楠等.河北省丰宁地区全新世风沙活动及其对古文化的影响. 第四纪研究 2005,25(6):729~740
Qiu Weili, Li Rongquan, Zhu Nan et al. Aeolian sand activities at Fengning, Hebei Province during Holocene and their influence on ancient culture. *Quaternary Sciences*, 2005, 25(6): 729~740
- 7 李小强,周卫建,安芷生等.沙漠/黄土过渡带13kaBP以来季风演化的古植被记录. 植物学报, 2000, 42(8):868~872
Li Xiaoqiang, Zhou Weijian, An Zhisheng et al. The palaeovegetation record of monsoon evolution in the desert-loess transition zone for the last 13kaBP. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(8): 868~872
- 8 熊尚发,刘东生,丁仲礼.两个冰期-间冰期旋回的黄土记录及其古气候意义. 地理科学, 2002, 22(1):18~23
Xiong Shangfa, Liu Tungsheng, Ding Zhongli. Paleoclimatic records of the loess in the vicinity of Beijing region during the last two glacial-interglacial cycles and its implications. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(1):18~23
- 9 朱士光,王元林,呼林贵. 历史时期关中地区气候变化的初步研究. 第四纪研究, 1998(1):1~9
Zhu Shiguang, Wang Yuanlin, Hu Lingui. Study on climate variations in the region of Guanzhong in the historical period. *Quaternary Sciences*, 1998(1):1~9
- 10 杨晓燕,夏正楷,崔之久. 黄河上游全新世特大洪水及其沉积特征. 第四纪研究 2005,25(1):80~85
Yang Xiaoyan, Xia Zhengkai, Cui Zhijiu. Holocene extreme floods and its sedimentary characteristic in the upper reaches of the Yellow River. *Quaternary Sciences*, 2005, 25(1): 80~85
- 11 夏正楷,杨晓燕. 我国北方4kaB.P.前后异常洪水事件的初步研究. 第四纪研究 2003,23(6):667~674
Xia Zhengkai, Yang Xiaoyan. Preliminary study on the flood events about 4 kaB. P. in North China. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(6): 667~674
- 12 吴文祥,刘东生. 4000aB.P.前后东亚季风变迁与中原周围地区新时期文化的衰落. 第四纪研究 2004, 24(3):278~284
Wu Wenxiang, Liu Tungsheng. Variations in the East Asia Monsoon around 4000aB. P. and the collapse of Neolithic around Central Plain. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(3): 278~284
- 13 安芷生,魏兰英,卢演倩. 洛川黄土剖面土壤地层学的初步研究. 中国第四纪研究, 1985, 6(1):166~173
An Zhisheng, Wei Lanying, Lu Yanchou. A preliminary study of soil stratigraphy in Luochuan loess profile. *Quaternaria Sinica*, 1985, 6(1):166~173
- 14 Huang Chunchang, Pang Jingli, Huang Ping. Abruptly increased climatic aridity and its social impact on the Loess Plateau of China at 3100aB. P. *Journal of Arid Environments*, 2002, 52: 87~99
- 15 贾耀峰,黄春长,庞奖励等. 全新世黄土剖面Li/Ba值变化及其古气候意义. 第四纪研究 2005, 25(6):770~776
Jia Yaofeng, Huang Chunchang, Pang Jiangli et al. Variations of Li/Ba ratios and its paleoclimatic significance in the Holocene soil profile. *Quaternary Sciences*, 2005, 25(6): 770~776
- 16 施雅风,孔昭震,苏民等. 中国全新世大暖期的气候变化波动与重要事件. 中国科学(B辑), 1992, 22(12):1300~1308
Shi Yafeng, Kong Zhaochen, Wang Sumin et al. Climatic fluctuation and important events during Holocene Megathermal in China. *Science in China(Series B)*, 1992, 22(12):1300~1308
- 17 唐克丽,贺秀斌. 黄土高原全新世黄土-古土壤演替及气候演变的再研讨. 第四纪研究 2004, 24(2):129~139
Tang Keli, He Xiubin. Re-discussion on loess-paleosol evolution and climatic change on the loess plateau during the Holocene. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(2): 129~139
- 18 孙建中,赵景波著. 黄土高原第四纪. 北京:科学出版社, 1991. 201~205
Sun Jianzhong, Zhao Jingbo. Quaternary of Loess Plateau in China. Beijing: Science Press, 1991. 201~205
- 19 张健,赵景波,杜娟等. 西安临潼白庙剖面全新世黄土与环境变化. 干旱区研究 2004, 21(2):117~121
Zhang Jian, Zhao Jingbo, Du Juan et al. Study on the relationship between Holocene loess at Baimiao profile and environment change in Lintong region, Xi'an. *Arid Zone Research*, 2004, 21(2): 117~121
- 20 中国考古研究所. 1965~1991年中国考古¹⁴C数据文集. 北京: 文物出版社, 1992. 125~131
Chinese Institute of Archaeology. Collection of the ¹⁴C Dates in Chinese Archaeology between 1965 and 1991. Beijing: Antique Press, 1992. 125~131
- 21 Zhao Jingbo. Middle Holocene soil and migration of climatic zone in the Guanzhong Plain of China. *Soil Science* 2005, 170(4):280~291
- 22 郭正堂, Fedoroff N. 西峰和西安黄土中盐碱化古土壤气候意义的初步探讨. 第四纪研究, 1992(2):107~117
Guo Zhengtang, Fedoroff N. A study on the paleoclimatic implication of the saline-alkali paleosols in Xifeng and Xi'an loess sections. *Quaternary Sciences*, 1992, (2):107~117
- 23 孙斌,郭正堂,尹秋珍等. 西宁第四纪黄土-古土壤序列中的可溶盐、来源及环境意义. 第四纪研究 2006, 26(4):649~656
Sun Bin, Guo Zhengtang, Yin Qiuzhen et al. Soluble salts in a Quaternary loess-soil sequence near Xining and their environmental implications *Quaternary Sciences* 2006, 26(4): 649~656
- 24 赵景波. 黄土形成与演变模式. 土壤学报, 2002, 39(4):459~466
Zhao Jingbo. Pattern of loess formation and evolution. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(4): 459~466
- 25 刘东生等著. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 296~300
Liu Tungsheng et al. Loess and the Environment. Beijing: Science Press, 1985. 296~300
- 26 唐克丽,贺秀斌. 第四纪黄土剖面多元古土壤形成发育信息的揭示. 土壤学报 2002, 39(5):609~617
Tang Keli, He Xiubin. Revelation of information on genesis of multi paleosol from Quaternary loess profile. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(5): 609~617
- 27 熊毅,李庆逵主编. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1987. 67~83
Xiong Yi, Li Qingkui eds. Soils of China. Beijing: Science Press, 1987. 67~83
- 28 Kukla G J. Pleistocene land-sea correlation in Europe. *Earth Science Reviews*, 1977, 13(4):307~374

CHANGE OF PALEOSOL AND CLIMATE DURING MIDDLE HOLOCENE IN LUOCHUAN AREA OF SHAANXI PROVINCE

Zhao Jingbo^{①②} Hao Yufen^① Yue Yingli^①

(①Geographical Department of Shaanxi Normal University, Xi'an 710062;

②State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075)

Abstract

Sixty-six samples were collected from the paleosol profile of the Middle Holocene lying in the east of Luochuan, Shaanxi Province. The gasometric method, a magnetic susceptibility meter, a grain size meter and a microscope are used to analize the CaCO₃ content and grain size, the magnetic susceptibility and the microstructure of these paleosol samples. The grain size composition shows that paleosol in the Middle Holocene is divided into two layers, between which a thin loess layer is embedded. In the lower paleosol layer which was formed in early Middle Holocene, there is less content of CaCO₃ with average of 0.34%, showing an obvious character of leached soil. The content of clay grain size less than 0.005mm is 12% more than in the Malan loess. The optical clay films in the clay grouting horizon(Bt horizon)developed to a certain extent and a little lumpy clay films can be found, showing that clay grains were removed and illuviated in this paleosol layer, which indicates that soil formation of paleosol of early Middle Holocene was stronger than that of the contemporary soil in the area. Paleosol of this layer is thus defined as luvis cinnamon soil, deposited during a period with enhanced summer monsoon, which resulted in a warmer and moister climate than at present, with the mean annual precipitation of at least 100mm more than at present. In the upper paleosol layer of Middle Holocene, the average CaCO₃ content is 2.5%. Illuvial clay films was poorly developed but sedentary clay was developed. The development degree of soil of the upper layer is lower than that of the lower layer, but is still higher than that of the contemporary soil in the area. The soil type of the upper layer is orthic cinnamon soil developed during late Middle Holocene, a period with warmer and moister climate than that of today. The middle Middle Holocene (about 6000 ~ 5000aB. P.) is an environmental deterioration stage with a cold and dry climate with strong dust storm. The current study is a good example on revealing the correlation between the change of soil characters and climate change in Middle Holocene in the Loess Plateau.

Key words Luochuan area, Middle Holocene, soil type, climate change